

Instrumen Pengukuran Respon Dinamik Berbasis Komputer Menggunakan Kalman Filter

Hilmi Dhiya Ulhaq¹, Budi Setiadi², Ali Mahmudi³

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail: hilmi.dhiya.toi18@polban.ac.id

²E-mail: budi.setiadi@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

³E-mail: alimahmudi@polban.ac.id

ABSTRAK

Perangkat elektronik yang berhubungan dengan sistem kendali yang diperlukan untuk pencatatan respon dinamik memerlukan instrumen khusus yang dapat mencatat proses dinamik tersebut. Instrumen khusus tersebut dapat menampilkan data berupa grafik maupun teks. Instrumen tersebut akan dibuat menjadi sistem akuisi data (DAQ) berbasis komputer, agar data lebih mudah untuk diolah lebih lanjut. Pada penelitian ini akan menguji DAQ untuk membaca respon dinamik kecepatan motor vane pneumatik. Terdapat juga hasil pengujian DAQ yang menggunakan Kalman Filter dan tidak menggunakan Kalman Filter. Pada penelitian ini didapatkan hasil pembacaan %ESS paling kecil pada Instrumentasi menggunakan Filter Kalman sebesar 0,449 %. Parameter Filter Kalman yang digunakan menggunakan nilai $R=50$ dan $Q=0.5$.

Kata Kunci

Instrumentasi, DAQ, Kecepatan Vane Motor, Kalman Filter

1. PENDAHULUAN

Perangkat elektronik yang berhubungan dengan sistem kendali yang diperlukan untuk pencatatan respon dinamik memerlukan instrumen khusus yang dapat mencatat proses dinamik tersebut. Instrumen khusus tersebut dapat menampilkan data berupa grafik maupun teks. Agar data dapat diolah, dianalisa, dan dikendalikan maka diperlukan sistem akuisi data (DAQ) [1]. Sistem DAQ yang dirancang adalah berbasis komputer untuk untuk membaca respon dinamik kecepatan motor vane pneumatik. Pneumatik dapat dimanfaatkan untuk *solar tracker* dan motor vane pneumatik [2], [3].

Secara aktual DAQ berupa interface antara lingkungan analog dengan lingkungan digital [4]. Lingkungan analog meliputi nilai tegangan analog yang dimasukkan ke mikrokontroler, kemudian nilai digital merupakan hasil data kecepatan yang ditampilkan pada komputer. Pada penelitian ini juga menggunakan Filter Kalman agar nilai pembacaan kecepatan memiliki *noise* yang kecil sehingga nilainya menjadi lebih baik. Filter Kalman, merupakan sebuah metode penyaringan yang bersifat rekursif dengan tujuan untuk meminimalisir sinyal gangguan dari pembacaan data yang diperoleh berdasarkan estimasi satu waktu sebelumnya dan data pengukuran saat ini [5]. Dalam matematika Filter Kalman dideskripsikan sebagai estimasi varian minimum linier untuk urutan keadaan sistem dinamis [6]. Sistem dinamis dijelaskan oleh

persamaan keadaan dan persamaan pengamatan, seperti yang dibawah ini.

Persamaan keadaan:

$$x(k) = Ax(k - 1) + u(k) \quad (1)$$

Persamaan observasi:

$$z(k) = Hx(k) + v(k) \quad (2)$$

A adalah matriks transfer keadaan sistem, H adalah observasi matrik, $u(k)$ $v(k)$ adalah *noise* gaussian rata-rata nol dengan kovarian Q dan kovarian R, $v(k) \sim N(0, Q)$, $u(k) \sim N(0, Q)$.

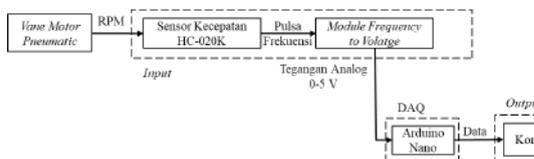
Terdapat penelitian-penelitian yang membahas tentang instrumentasi diantaranya seperti, Instrumentasi berbasis PLC untuk pengisian botol, instrumentasi monitoring kualitas akustik ruangan, instrumentasi pada sistem monitoring kualitas air, dan instrumentasi kecepatan dan konsumsi bahan bakar pada dynamometer chasis sepeda motor. [7]–[10]. Dari penelitian sebelumnya terdapat beragam instrumentasi yang berbeda-beda, ada yang berbasis PLC maupun arduino, kemudian sensor-sensor yang berbeda. dan hasil akhir data tersebut ditampilkan ada yang melalui lcd, komputer dan web. Pembeda dari penelitian ini adalah menggunakan mikrokontroler Arduino dan hasil data akan diproses pada computer melalui perangkat lunak Microsoft Excel.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respon dinamik instrumentasi berbasis komputer dengan menggunakan Filter Kalman dan tidak menggunakan filter Kalman pada kecepatan motor vane pneumatik

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Perangkat Keras Elektronik

Gambar 1 menunjukkan desain untuk perangkat keras penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 1. Rangkaian Diagram Elektrik

Aktuator motor vane penumtik yang berputar akan dibaca kecepatannya dalam satuan RPM (*Rotation Per Minute*) diubah oleh komponen input menjadi sinyal listrik. Komponen input dimulai dari sensor kecepatan *optocoupler* yang menghasilkan sinyal frekuensi, kemudian sinyal frekuensi diubah menjadi tegangan analog oleh modul *freuency to voltage*, lalu tegangan analog 0-5V menjadi *input* untuk Arduino. Arduino berperan sebagai DAQ untuk memproses data analog dan merubahnya menjadi data digital yang teruskan pada komputer. Pada komputer data digital diolah oleh perangkat lunak Microsoft Excel untuk mendapatkan data dalam bentuk grafik maupun tabel. Terdapat daftar komponen yang digunakan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

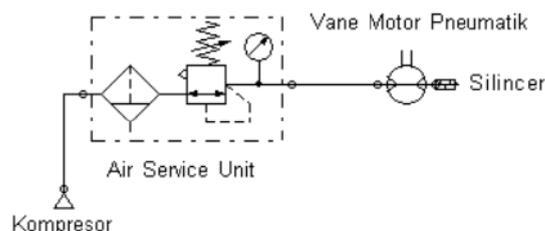
Tabel 1 *Komponen Elektronik*

| N o | Komponen | Keterangan |
|--------|---------------|--|
| 1 | HC-020K | Sensor kecepatan optocoupler, 5 Vdc |
| 2 | Arduino Nano | Mikrokontroler berbasis ATmega 328P, penerima nilai analog, memproses data, dan menampilkan data. |
| 4 | F to V Module | Pengubah nilai frekuensi 0-10kHz menjadi Tegangan analog 0-5V dengan sumber tegangan DC referensi 12V. |
| 5 | Power Supply | Sumber tegangan 5V, dan 12V |

2.2 Desain Mekanik Pneumatik

Pada gambar 2 merupakan rancangan sistem peneumatik yang digunakan. Dimulai dari kiri terdapat kompresor. Kompresor berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan untuk system pneumatik, lalu udara tersebut masuk ke *air service unit* dahulu yang terdiri dari: saringan udara untuk menyaring kotoran,

regulator untuk mengatur besar kecilnya udara yang masuk, dan pelumas agar komponen sistem pneumatik tidak cepat rusak. Terakhir terdapat aktuator motor vane pneumatik yang dilengkapi *silencer* pada *outlet* motor vane pneumatik. Pada penelitian ini tekanan pada *air service unit* diatur tekanannya hayanya mencapai 1 bar. Pada tabel 2 akan terdapat daftar komponen mekanik penumatik yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2. Dasain Mekanik Pneumatik

Tabel 2 *Komponen Mekanik Pneumatik*

| N o | Komponen | Keterangan |
|--------|----------------------|--|
| 1 | Kompresor | 3/4 Hp, 220 Vac |
| 2 | Air Service Unit | Terdiri dari lubrikan, regulator, oil. Tekanan maksimum = 10 bar |
| 3 | Vane Motor Pneumatik | Max power = 2.8 HP, Max pressure = 7 bar, Max speed = 4000 rpm. |
| 4 | Selang Pneumatik | Ukuran 6mm pada motor dan valve serta ukuran 8 mm dari kompresor menuju air service unit |

2.3 Rancangan Program Arduino

Pada penelitian ini titik berat DAQ terdapat pada controller Arduino. Arduino deprogram menggunakan Arduino IDE untuk menerima sinyal input berupa tegangan analog 0-5 V untuk diubah menjadi data digital yang akan diolah oleh komputer. Terdapat dua program Arduino untuk instrumentasi penelitian ini yaitu tanpa Filter Kalman dan dengan Filter Kalman.

Program tanpa Filter Kalman:

```
//====Library yang digunakan====
#include <Wire.h>
//=====Inisialisasi=====
float rpm
void setup () {
  Serial.begin(9600);
```

```

}
void loop () {
    float inputValue = analogRead(A1);
    //feedback dari F to V
    rpm = (inputValue*1217)/4.375; // Pada
    RPM=1217, Feedback FtoV adalah 4,375
    Volt
    Serial.println(rpm);
    delay(100);
}

```

Program dengan Filter Kalman:

```

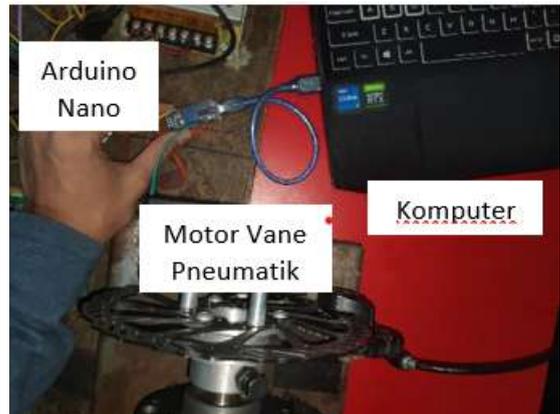
//=====Library yang digunakan=====
#include <Wire.h>
//=====Inisialisasi=====
float rpm
float SensorData, KalmanFilterData;
float Xt, Xt_update, Xt_prev;
float Pt, Pt_update, Pt_prev;
float Kt, R, Q;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    R=100; //Nilai R dapat diubah
    Q=1; //Nilai Q dapat diubah
    Pt_prev=1;
}
void loop() {
    float inputValue = analogRead(A1);
    //feedback dari F to V
    rpm = (inputValue*1217)/4.375; // Pada
    RPM=1217, Feedback FtoV adalah 4,375
    Volt
    //===== Logika Kalman=====
    SensorData = rpm;
    Xt_update = Xt_prev;
    Pt_update = Pt_prev + Q;
    Kt = Pt_update/(Pt_update + R);
    Xt = Xt_update + (Kt * (SensorData -
    Xt_update));
    Pt = (1-Kt)*Pt_update;
    Xt_prev = Xt;
    Pt_prev = Pt;
    KalmanFilterData = Xt;
    Xt= rpm;
    Serial.println(rpm);
    delay(100);
}

```

Rancangan ini dapat mengikuti semua plant yang memiliki input tegangan analog 0-5V pada Arduino, tidak hanya kecepatan motor sehingga dapat mengganti fungsi pembacaan rpm sesuai dengan sensor yang digunakan.

2.5 Realisasi Alat Prototipe

Realisasi dari seluruh integrasi rancangan dalam alat prototipe ini digambarkan pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Realisasi Alat Prototipe

3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada penelitian alat diujikan sesuai dengan rancangan yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pengujian Alat Instrumentasi

Kemudian pengujian bagaimana grafik respon dari motor vane dimulai pada saat kompresor mulai dinyalakan hingga mencapai tekanan 1 bar pada *air service unit*. Pengujian ini dilakukan tiga kali dimana program tanpa filter Kalman, dan variasi R dan Q pada program filter Kalman sebanyak dua kali dan didapatkan hasil pengujian sebagai berikut.

3.1 Pengujian Tanpa Filter Kalman

Berikut adalah hasil pengujian instrumentasi alat tanpa menggunakan filter Kalman.



Gambar 5. Pengujian Tanpa Filter Kalman

Pengujian dilakukan selama sekitar dua menit dan didapat dari data sampling terdapat 1010 data sampling dari pencatatan setiap 0.1 detik. Respon mencapai nilai *steady state* pada kecepatan 540 rpm, data itu pertama kali ada pada data ke-480. Kemudian analisa errornya akan dilakukan error steady state dari data ke-480 hingga ke 1010 dengan interval data kelas tiap kolom 100 data. Didapatkan analisis tabel data sebagai berikut.

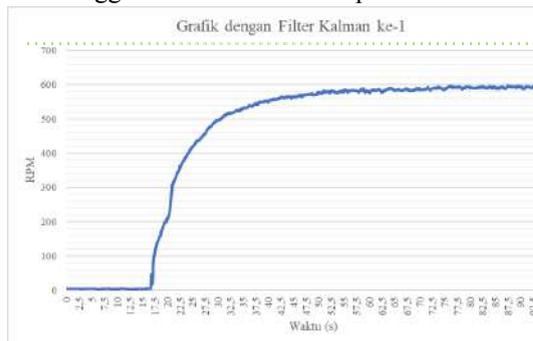
Tabel 3 Analisis Pengujian Tanpa Filter Kalman

| Data ke- | Kecepatan Rerata (RPM) | ESS (%) |
|----------|------------------------|---------|
| 480-579 | 536,070 | 0,728 |
| 580-679 | 537,168 | 0,524 |
| 680-779 | 539,187 | 0,151 |
| 780-879 | 543,913 | 0,725 |
| 880-1010 | 542,034 | 0,377 |

Dari tabel ke-3 didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0.501%.

3.2 Pengujian Filter Kalman ke-1

Berikut adalah hasil pengujian instrumentasi alat menggunakan filter Kalman pertama.



Gambar 4. Pengujian Filter Kalman Ke-1

Pengujian menggunakan nilai $R=10$ dan $Q=0.1$, dilakukan selama sekitar dua menit dan didapat dari data sampling terdapat 984 data sampling dari pencatatan setiap 0.1 detik. Respon mencapai nilai *steady state* pada kecepatan 570 rpm, data itu pertama kali ada pada data ke-470. Kemudian analisa errornya akan dilakukan error steady state dari data ke-470 hingga ke-984 dengan interval data kelas tiap kolom 100 data. Didapatkan analisis tabel data sebagai berikut.

Tabel 4 Analisis Pengujian Filter Kalman ke-1

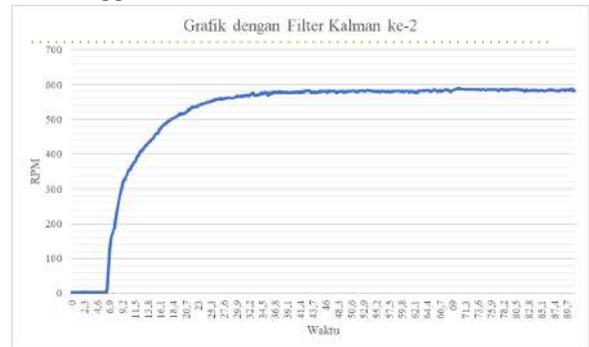
| Data ke- | Kecepatan Rerata (RPM) | ESS (%) |
|----------|------------------------|---------|
| 470-569 | 577,552 | 1,325 |
| 570-669 | 583,753 | 2,413 |

| | | |
|---------|---------|-------|
| 670-769 | 587,852 | 3,132 |
| 770-869 | 591,701 | 3,807 |
| 870-984 | 592,986 | 4,033 |

Dari tabel ke-4 didapatkan nilai *error steady state* sebesar 2.942 %.

3.3 Pengujian Filter Kalman ke-2

Berikut adalah hasil pengujian instrumentasi alat menggunakan filter Kalman kedua.



Gambar 5. Pengujian Filter Kalman Ke-2

Pengujian menggunakan nilai $R=50$ dan $Q=0.5$, dilakukan selama sekitar dua menit dan didapat dari data sampling terdapat 916 data sampling dari pencatatan setiap 0.1 detik. Respon mencapai nilai *steady state* pada kecepatan 580 rpm, data itu pertama kali ada pada data ke-413. Kemudian analisa errornya akan dilakukan error steady state dari data ke-413 hingga ke-916 dengan interval data kelas tiap kolom 100 data. Didapatkan analisis tabel data sebagai berikut.

Tabel 5 Analisis Pengujian Filter Kalman ke-2

| Data ke- | Kecepatan Rerata (RPM) | ESS (%) |
|----------|------------------------|---------|
| 413-512 | 579,602 | 0,069 |
| 513-612 | 580,673 | 0,116 |
| 613-712 | 582,683 | 0,463 |
| 713-812 | 585,568 | 0,960 |
| 813-916 | 583,690 | 0,636 |

Dari tabel ke-5 didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0,449 %.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis instrumentasi pembacaan kecepatan vane motor pneumatik didapatkan, bahwa didapatkan hasil pembacaan %ESS paling kecil pada Instrumentasi menggunakan Filter Kalman sebesar 0,449 %. Parameter Filter Kalman yang digunakan menggunakan nilai $R=50$ dan $Q=0.5$. Penelitian ini berhasil membuat instrumentasi pembacaan nilai analog dan menampilkannya secara digital pada komputer. Selain itu pengembangan lebih lanjut dapat mengaplikasikan pengukuran

lainnya dengan mengganti sensor, merubah metode filter dari pembacaan sensor, atau mengintegrasikan dengan sistem IOT (*Internet Of Things*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan penelitian kelompok A1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Nelson, "DAQ systems and signal conditioners corral analog inputs," *EE-Evaluation Engineering*, vol. 57, no. 6, hlm. 12+, Juni 2018.
- [2] V. A. Wijayakusuma, B. Setiadi, dan F. Z. Raihan, "UV Indeks sebagai Parameter terhadap Solar Tracker Electro Pneumatic dengan Kendali Fuzzy," hlm. 4, 2021.
- [3] F. Z. Raihan, B. Setiadi, H. Purnama, dan V. A. Wijayakusuma, "Kendali Kecepatan Vane Motor Pneumatik Berbasis Kendali Fuzzy," hlm. 5, 2021.
- [4] A. Hafid, "PERANCANGAN MODUL DATA AKUISISI PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC DENGAN MASUKAN DAC MENGGUNAKAN MATLAB," vol. 12, no. 01, hlm. 11, 2020.
- [5] A. A. Ashari, E. Setiawan, dan D. Syauqi, "Sistem Navigasi Waypoint Pada Robot Beroda Berdasarkan Global Positioning System Dan Filter Kalman," hlm. 8.
- [6] Y. Xu, K. Xu, J. Wan, Z. Xiong, dan Y. Li, "Research on Particle Filter Tracking Method Based on Kalman Filter," *IEEE*, hlm. 5, 2018, doi: 10.1109/IMCEC.2018.8469578.
- [7] O. Febriyanti, U. Latifa, dan R. Hidayat, "Perancangan Sistem Instrumentasi Pada Mesin Pengisi Botol Minuman Berbasis Outseal PLC," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi Dan Kontrol*, vol. 7, no. 1, hlm. 29–42, Mei 2021, doi: 10.15575/telka.v7n1.29-42.
- [8] A. Gumelar, G. A. Pauzi, dan A. Surtono, "Perancangan Instrumentasi Monitoring Kualitas Akustik Ruangan Berdasarkan Tingkat Tekanan Bunyi dan Waktu Dengung," vol. 06, no. 01, hlm. 10, 2018.
- [9] F. I. Purnianto, "Perancangan Sistem Instrumentasi Pada Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Hybrid Control Dengan Panel Surya," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektron.-Telekomun.-K*

omput., vol. 9, no. 2, Des 2020, doi: 10.36055/setrum.v9i2.9140.

- [10] R. Wijanarko, "PERANCANGAN INSTRUMENTASI KECEPATAN DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA DINAMOMETER CHASIS SEPEDA MOTOR," vol. 13, no. 2, hlm. 5, 2017.